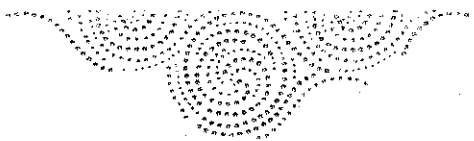


chapter 3

## 이산화탄소의 치명적 매력

"이산화탄소, 그것이 없다면 우리의 들과 정원의 온기는  
일방적으로 우주 공간으로 쏟아져나갈 것이고,  
태양은 서리의 손아귀에 단단하게 붙들린 섬 위로 떠오른 것이다."

- 존 터너 -



### 우연한 계기

우리 모두를 먹여 살리는 기체는 프리스틀리와 라부아지에가 산소를 발견하기 수십 년 전인 18세기 초에 발견되었다. 그 정체를 밝혀낸 사람은 스코틀랜드의 친절하고 천재 과학자였다. 그는 그 기체를 두 번만 들어냈는데, 처음에 만들어냈을 때에는 순전히 우연한 일이었다.

1754년 1월, 에든버러.

지난번 편지에서 이야기하려고 했으나, 마침 그때 신경 쓰는 일이 있어

깜빡하고 말았습니다. 그것은 바로 내가 큰 흥미를 느낀 실험이었는데, 커다란 원통형 유리 용기 바닥에 약간의 석회와 황산을 넣었지요. 그러자 거품이 격렬하게 일면서 공기 혹은 증기가 유리 용기 밖으로 흘러넘치더니 옆에 놓여 있던 촛불을 꺼뜨렸습니다. 그리고 불타는 종이 조각을 그 속에 집어넣었더니 마치 물에 담근 것처럼 완전히 꺼졌습니다. 그렇지만 그 냄새는 전혀 거슬리지 않았습니다.....

조지프 블랙(Joseph Black)은 이 편지를 이전의 스승에게 보낼 때, 자신이 발견한 기묘한 '공기 혹은 증기'가 얼마나 중요한 것인지 전혀 눈치 채지 못했다. 그는 학위 논문을 준비하고 다양한 질환을 앓는 환자를 치료할 수 있는 방법을 연구하는 중요한 일에 매달려 있으면서도 때때로 짬을 내 심심풀이로 실험을 하고 있었다. 블랙은 의사가 되기 위한 수련을 받고 있었고, 자신의 직업을 진지하게 여겼다.

누구나 블랙을 좋아했으며, 그는 한번 친구가 된 사람을 절대로 잃는 법이 없었다고 한다. 때로는 정말 사람 좋은 면을 보여주기도 했다. 한번은 가진 돈을 모두 한 금융 회사에 맡겼는데, 그 직후에 그 회사는 위기를 맞이했다. 블랙은 그 회사가 파산하기 일 년 전쯤에 이미 문제가 있다는 걸 알았으나, 상대방이 당황할까 봐 돈을 인출하지 않았고 결국 저축한 돈 중 3/4을 날렸다.

그는 자신감이 넘치고, 쉽게 친해질 수 있는 사람이었으며, 친절하고 호기심이 아주 강했다. 실험하는 걸 좋아했는데, 단지 새로운 약품을 발견하기 위해서가 아니라, 세계가 실제로 어떻게 돌아가는지 알고 싶어서였다. 그 당시는 물론이고 오늘날의 학계에서도 블랙 만큼 명예욕이 없는 사람은 찾아보기 어렵다. 그는 평생 동안 수많은

실험을 했지만, 그 결과를 발표한 적은 거의 없다. 그는 일등을 하려고 하지 않았고, 유명해지고 싶은 생각도 없었다. 그는 단지 '알고 싶어했다'.

블랙은 가르치는 일도 좋아했다. 말년에 글래스고 대학의 해부학 교수가 되었을 때, 그는 강의를 준비하는 데 상당한 노력을 쏟아부었으며, 그의 강의는 학생들에게 큰 인기를 끌었다. 그는 재주가 반짝이는 사람은 아니었으나, 열정이 넘쳤고 말을 부드럽게 했다. 그를 존경하는 청중은 입도 뻥긋하지 않고 경청했기 때문에, 그의 낮은 목소리는 맨 뒷자리에서도 충분히 들을 수 있었다. 무엇보다 블랙은 침착했다. 황산이 든 비커를 높이 들어올려 가느다란 시험관 속에 안전하게 쏟아부을 수 있었다. 산이나 가루, 물감, 불꽃을 사용한 실험을 대중 앞에서 보여줄 때에도 그의 손은 조금도 떨리지 않았다.

블랙은 에든버러의 여성들 사이에서 인기가 많았으나 평생 동안 결혼을 하지 않았다. 그는 자신의 시간과 관심을 잘 계산하여 그들 사이에 분배했는데, 머리가 좋은 여성들을 선호했다. 가까운 친구들도 평생 독신으로 지낸 사람이 많았는데, 블랙은 보일처럼 그들과 가까이 사귀면서 많은 혜택을 입었다. 친구들 중에는 대단한 사람이 많았다. 그 당시 스코틀랜드에는 우수한 사람들이 아주 많이 모여 있었기 때문에, 런던의 한 유명한 역사학자는 "나는 우리 섬의 북쪽 지방을 늘 진지한 존경의 눈으로 바라보았다. 그곳의 취향과 철학은 이 거대한 수도의 매연과 바쁜 일상에서 멀리 벗어나 있는 것처럼 보인다."라고 말했다.

에든버러에는 블랙 외에 철학자 데이비드 흄(David Hume), 근대 경제학의 아버지인 애덤 스미스(Adam Smith), 지질학을 창시한 제임스

허턴(James Hutton) 등 쟁쟁한 인물들이 있었다. 런던의 자연철학자들이 여전히 전통적인 인기 분야인 별에 매달려 있었던 반면, 새로운 산업 중심지의 자연철학자들은 다른 분야를 개척하기 시작했다. 이전 세대의 갈릴레이처럼 그들은 관심의 초점을 다른 데로 돌려보려고 했다. 그들은 하늘에는 더 이상 신경 쓰지 말고, 이곳 지상 세계에 어떤 것들이 있는지 살펴보자고 말했다.

블랙의 유명한 친구들은 블랙과 마찬가지로 호감이 가는 인물들이었다. 그 중 네 사람은 매주 한 번씩 모여 토론을 벌이는 '오이스터 클럽(Oyster Club)'을 만들었는데, 나중에는 예술이나 과학에 관심이 있는 에든버러의 주민과 방문객까지도 받아들였다. 대화는 격식을 차리지 않았고, 창립자 중 위압적이거나 냉담한 사람은 아무도 없었다. 한 비평가가 지적한 것처럼, 네 사람은 작은 것에도 즐거워했고, 다른 사람의 말에도 귀를 잘 기울여주었으며, 그들 사이의 진지한 우정은 어떤 자그마한 시샘도 없이 금이 가지 않았다.

그러나 블랙의 인생은 늘 그를 괴롭힌 건강 때문에 많은 지장을 받았다. 그는 연구 속도가 느린 것에 자주 좌절을 느끼곤 했다. 지적인 활동을 며칠 동안 계속하다 보면 기침에 피가 섞여 나오곤 했고, 때로는 '건강 상태가 너무 안 좋아' 아버지의 편지에 답장을 하지 못했다고 사과를 하곤 했다. 말년에는 몸이 더욱 약해져 조심스럽게 운동을 하고 갈수록 초라한 식사를 하면서 겨우 생명을 연장해갔다. 그는 평소처럼 빵 한두 조각과 서양자두 조금, 물을 탄 우유로 식사를 하다가 죽었다. 하인이 죽은 그를 발견했을 때, 우유 컵은 그의 무릎 위에 똑바로 놓여 있었다. 한 친구는 훗날 "마치 친구들에게 자신이 얼마나 쉽게 떠나갔는지 보여주기 위한 실험이 필요했던 것처럼"이라고 표

현했다.

블랙이 공기에 대한 연구를 시작하게 된 것은 우연한 일이 계기가 되었다. 의사였던 그는 17세기의 사람들을 괴롭혔던(지금도 마찬가지지만) 아주 고통스러운 질병에 대한 치료법을 찾으려고 노력하고 있었다. 그것은 바로 방광 결석이었다. 지금은 아주 인도적인 치료법을 사용하고 있지만, 17세기에는 멸균 장비나 마취제가 없었던 탓에 수술은 늘 치명적인 결과를 초래할 위험을 안고 있었다. 돌을 녹이는 데 도움을 주는 가성 물질을 방광에 주사하는 간접적인 치료법이 있었지만, 그것은 결석만 녹이는 게 아니라 다른 것들도 녹이기 때문에, 오히려 환자를 더 고통스럽고 쇠약하게 만들곤 했다.

이런 치료법을 피하기 위해 환자들은 점점 더 기묘한 약에 의지했다. 영국 총리인 로버트 월폴(Robert Walpole)도 신장 결석으로 고생하다가, 조애너 스티븐스(Joanna Stephens) 여사에게 자신의 증상을 완화시키는 데 도움을 준 치료 비법을 공개한 대가로 5000파운드를 지불하게 했다. 스티븐스 여사는 1739년 6월 19일자 〈런던 가제트〉에 자신의 약 성분을 다음과 같이 공개했다.

…… 가루약, 달인 약, 알약. 가루약은 달걀 껍데기와 달팽이를 하소(물질을 태워 휘발 성분을 없애고 재로 만드는 일—옮긴이)한 가루로 만든 것이다. 달인 약은 몇 가지 허브(비누와 잣을 문진 덩어리를 까맣게 태운 것과 꿀과 함께)를 물에 끓여서 만든다. 알약은 하소한 달팽이, 야생 당근 씨와 우엉 씨와 서양물푸레나무 열매와 장미 열매와 산사나무 열매를 까맣게 태운 것, 비누, 꿀로 만든다.

블랙은 이러한 수수께끼의 약을 참을 수가 없어 직접 과학적 근거가 있는 치료약을 찾아내고자 했다. 그는 엽숨염으로 만드는 탄산마그네슘 가루를 가지고 시작하기로 결정했는데, 이 물질은 약간의 가성을 지니고 있고 이미 약에도 사용되고 있었다. 예를 들어 블랙은 다혈증이 있는 활동적인 여성에게 그것을 처방했는데, 그것은 그녀의 장을 열 차례나 청소했다. 그리고 블랙은 “이 염은 맛은 순하지만, 다른 하제보다 효능이 월등한 것 같다.”라고 결론 내렸다.

그것은 결석을 녹일 만큼 충분한 가성을 지니면서 보통의 치료법보다 고통이 덜한 새로운 약을 만들기 위한 시도였다. 그는 탄산마그네슘을 가열하여 그 결과물을 물과 섞기로 했다. 그것은 가성 의약품을 만드는 표준적인 방법이었다. 도가니에 탄산마그네슘 1온스를 넣고 구리를 녹일 만큼 충분히 높은 열을 가했다. 그런데 그렇게 했더니 예기치 않게 가성이 흔적도 없이 사라진다는 사실을 발견했다. 그 결과로 생긴 흰색 가루는 이전보다 더 순했고, 물에 섞어도 아무런 반응을 일으키지 않았으며, 산 속에 넣어도 거품이 일지 않았다. 따라서, 방광 결석 치료약으로는 절대로 쓸 수 없을 것 같았다.

블랙은 그래도 신중을 기하기 위해 실험이 끝난 시료의 무게를 재어보았는데 ‘3드라크마 1스크루폴’이 나왔다. 그것은 처음 무게의 5/12에 불과했다. 그는 의문이 생겼다. 시료 중에 물이 조금 포함되어 있을 순 있지만, 그렇다고 이렇게 무게가 확 줄어들 리는 만무했다. 나머지 탄산마그네슘은 어디로 간 것일까?

방광 결석 치료약을 개발하려는 시도가 실패한 것에 대한 실망감은 잊어버리고, 이런 일이 일어난 이유를 알아보기로 했다. 줄어든 탄산마그네슘의 무게는 물만으로는 설명이 되지 않았기 때문에, 이제 유

일한 용의자는 공기뿐이었다. 그 순간, 블랙은 30여 년 전에 야채를 가지고 행한 기묘한 실험에 대해 책을 쓴 어느 성직자의 연구가 생각났다.

#### 호기심 많은 목사님

스티븐 헤일스(Stephen Hales)는 자기 직업에 단순 무식에 가까운 단도직입적인 태도로 입했다. 그의 설교 스타일은 불과 유향과 저주를 퍼붓는 식이었다. 물론 그도 종종 기독교도는 가난한 자에 대한 자선과 관대함을 보여야 한다고 설교했지만, 자신의 교구민들이 무질서하거나 방종한 행동을 저지르지 않는지 늘 감시했다. 그는 육식을 하지 말라고 강조했고, 또 자신도 포도주를 좋아했고 하층 계급 사람들이 독한 사과주나 에일을 마시는 것에 대해서는 아무 말도 하지 않았지만, 진이나 브랜디 같은 증류주를 마시는 것에 대해서는 엄중하게 경고했다. 증류주에 대한 혐오는 그것이 신체에 해롭다는 신념에서 나온 것이었지만, 그것을 마시는 사람들이 타락한 행동을 저지르는 경향도 싫어하여 '이 불의 술에는 음란한 마법'이 들어 있다고 경고했다. 그가 교인들에게 강요한 회개 방식 역시 케케묵은 것이었다. 간음을 저질렀다가 들킨 불행한 교구민은 흰색 시트와 흰색 막대를 들고 교회 밖에 맨발로 서 있게 했다가, 연도(선창자를 따라 회중이 제창하는 기도 형식-옮긴이)가 시작되면 교회 안으로 들어와 설교와 기도를 듣게 했다.

헤일스는 일요일에는 교인을 향해 열변을 토하면서 보냈지만, 주중

에는 다른 열정에 시간을 바쳤으니, 그것은 바로 과학이었다. 자신의 교구에 목사 자리가 나길 기다리는 동안 그는 케임브리지 대학에서 약 13년을 보냈다. 그 당시는 위대한 아이작 뉴턴이 아직 대학에 있던 때라 헤일스는 과학에 큰 관심을 갖게 되었다. 런던 근처에 위치한 테딩턴의 교구로 돌아온 헤일스는 호기심 많은 초등학생처럼 여러 가지 사물을 찢어보고 건드려보고 잘라보았다. 그는 자신이 가장 좋아하는 두 가지 활동, 즉 종교와 과학 사이에서 아무런 갈등도 느끼지 않았다. 대신에 그는 보일처럼 세계의 작용에 관해 더 많은 것을 발견할수록 신앙심이 더 깊어졌다. 그는 "하느님이 창조한 작품을 볼 때, 그 다채로움과 다양성과 아름다움과 유익함과 상호 의존성을 어찌 즐거운 마음으로 바라보지 않을 수 있는가!"라고 말했다.

사실 유일한 갈등은 동물 실험을 할 때 생겨났다. 예를 들면, 헤일스는 인체의 혈액 순환을 나무의 수액 순환과 비교하면서 운 나쁜 개와 말, 사슴을 대상으로 잔인한 실험을 하다가 결국 성직자가 그런 실험을 계속하는 것은 적절치 않다고 판단해 실험을 중단했다. 그는 동료 성직자에게 보낸 편지에서, 그 연구를 계속하려면 수백 마리의 동물이 죽어야 하기 때문에, "우리 직업에 종사하는 사람이 그런 일에 더 이상 관여하는 것은 적절치 않다고 생각한다."라고 썼다.

그는 하느님이 만든 같은 동물을 해부하는 대신에 이번에는 손에 넣을 수 있는, 생명이 없는 각종 천연 물질들을 가열해보기로 결정했다. 그는 돼지 피, 사슴 뿔, 완두콩, 담배, 정향 기름, 밀랍을 가열해보았고, 심지어는 방광 결석까지 가열해보았다. 닥치는 대로 해보던 그의 실험이 갑자기 중요해진 것은 바로 이 시점이었다. 이들 물질을 가열할 때마다 모든 물질에서 공기가 나온다는 사실을 발견했기 때문이다.

그 당시 과학자들에게 이것은 알라딘의 램프에서 요정을 불러낸 것만큼이나 놀라운 이야기였다. 물 같은 액체를 가열하면 증기로 변한다는 것은 익히 알고 있는 사실이었다. 그러나 어떻게 고체 속에 구체적인 형체가 없는 공기가 갇혀 있을 수 있단 말인가? 더군다나 들어있는 공기의 양이 그렇게나 많다는 것이 믿어지지 않았다.

1727년에 출판된 《식물 정역학Vegetable Staticks》라는 책에서 헤일스는 이렇게 썼다.

오크나무 십재에서는 그 부피의 216배나 되는 공기가 나왔다. 1세제곱인치의 공간 속에 216세제곱인치의 공기를 압축해 집어넣고, 거기서 탄성 상태로 계속 머물러 있다면, 정육면체의 여섯 면에…… 그것이 가하는 압력은 19860파운드에 이르러 맥갈나무를 크게 폭발시키기에 충분한 힘이다.

헤일스는 바보가 아니었고, 오크나무가 아무런 예고도 없이 폭발하는 일은 없다는 사실을 알고 있었기 때문에, 오크나무에서 나온 공기는 그 전에 어딘가에 고정돼 있었던 게 틀림없다고 결론 내렸다. 헤일스는 그 '고정 공기'가 서로 강한 힘으로 반발하는 입자들로 이루어져 있을 것이라고 상상했다. 그리고 그 입자들이 어떤 상황에서는 고체 속에 묶여 있을 수도 있고, 어떤 상황에서는 밖으로 빠져나올 수도 있다고 생각했다.

그러나 헤일스가 관심을 쏟은 문제는 어떻게 공기가 고정되고, 또 어떻게 그것이 튀어나오느냐 하는 것뿐이었다. 그는 고체 속에서 갑자기 기체가 쏟아져나올 때 어떤 일이 일어나는지 전혀 알지 못했고,

개개 '공기'의 성질이 다를 수 있다는 사실도 깨닫지 못했다.

## 아주 특별한 순간

침착하고 사려 깊은 조지프 블랙은 천방지축으로 연구하던 헤일스보다는 훨씬 유리한 처지에 있었기 때문에, 그러한 것들을 생각할 수 있었다. 헤일스의 연구에 영감을 얻은 그는 탄산마그네슘이 고정 공기를 방출함으로써 변한 것이 아닐까 의심했다. 만약 그렇다면, 그것은 최소한 왜 무게가 줄어들었는지를 설명할 수 있었다. 그리고 블랙은 모든 공기가 똑같다고 가정하는 대신에 헤일스의 고정 공기가 보통 공기와는 아주 다른 성질을 가지고 있는 게 아닐까 의심했다. 어쩌면 공기가 빠져나갔을 때 왜 탄산마그네슘이 가성을 잃고 순하게 변했는지를 충분히 설명할 수 있는 성질을 지니고 있을지도 모른다고 생각했다.

블랙은 탄산마그네슘에서 빠져나가는 기체를 붙들지는 못했지만, 가성을 지닌 사춘 물질인 대리석에서는 성공을 거두었다. 그는 대리석 1세제곱인치를 가열하여 6갤런짜리 용기를 가득 채울 만큼 많은 고정 공기를 만들어냈다.

이제 연구할 수 있는 고정 공기 시료를 얻은 그는 그것이 정말로 보통 공기하고는 다른 특징을 지니고 있는지 알아보기로 했다. 그가 설계한 실험은 다소 복잡한 것이었지만, 천재적인 것이기도 했다. 블랙은 석회수(석회 골 탄산칼슘을 물에 녹인 액체)가 고정 공기와 친화력이 있다는 사실을 알고 있었다. 그는 탄산마그네슘과 대리석이 그것을

방출하는 것과 정반대 반응으로 석회수에 녹아 있는 석회가 공기를 빨아들인다고 판단했다. 그는 또 물에는 항상 일정량의 보통 공기가 녹아 있다는 사실도 알고 있었다. 물 속에서 물고기가 숨을 쉴 수 있는 것도 그 때문이고, 주전자의 물이 끓기 한참 전에 작은 기포들이 솟아올라오는 것도 그 때문이다.

그래서 그는 석회수에 녹아 있는 보통 공기에 무슨 일이 일어날까 하고 의문을 품었다. 만약 보통 공기가 고정 공기와 같은 것이라면, 석회수에 들어 있는 보통 공기는 모두 석회에 흡수되어 물 속에 하나도 남아 있지 않게 될 것이다. 블랙은 같은 양의 보통 물과 석회수에 보통 공기가 각각 얼마나 많이 들어 있는지 알아보면 답을 알 수 있다는 사실을 깨달았다. 만약 양쪽에서 똑같은 양의 공기가 나온다면, 석회가 흡수한 공기는 보통 공기하고는 근본적으로 다를 것이다. 그것은 그가 발견한 새로운 공기가 특별하다는 것을 말해준다.

생각한 것을 실행에 옮기려면 공기 펌프가 필요했다. 그러나 에든버러에서 구할 수 있는 유일한 공기 펌프는 제대로 작동하지 않았고, 그것을 조작하는 곱뜨고 통명스러운 기술자는 그것을 빨리 고쳐달라는 블랙의 친절한 요청에 냉담한 반응을 보였다. 화가 난 블랙은 글래스고의 옛 스승에게 편지를 써서 그곳의 공기 펌프를 사용하게 해달라고 부탁하면서 석회수를 어떻게 만들고 다루어야 하는지 아주 자세하게 설명했다. 옛 스승은 즉각 실험을 할 수 있도록 만반의 준비를 갖추어놓았다. 모든 것이 준비되었다는 연락이 왔다. 글래스고의 공기 펌프 용기 아래에 석회수와 보통 물을 각각 4온스씩 놓아두었다. 펌프가 공기를 빨아들이자, 두 병에서 공기가 거품을 일으키며 빠져나왔다. 각각의 병에서는 거의 같은 양의 공기가 나왔다.

블랙은 뿔 듯이 기뻐했다. 그는 논문에서 “이것으로부터 생석회가 빨아들이는 공기는 물과 섞이는 공기하고는 종류가 다르다는 사실이 명백해졌다.…… 생석회는 보통의 형태로는 공기를 빨아들이지 않지만, 대기 중에 흩어져 있는 특별한 종류의 공기\*하고는 결합하는 능력이 있다.”라고 썼다. 블랙은 해일스의 업적을 기려 이 특별한 종류의 새로운 공기를 고정 공기(fixed air)라 불렀다. 오늘날 우리는 이것을 이산화탄소라 부른다.

과학의 역사에서 아주 천진난만해 보이는 이 순간이 사실은 아주 큰 의미를 지닌 특별한 순간이었다. 그것은 공기의 종류가 한 가지만 있는 게 아니라는 사실이 처음으로 확인된 순간이었기 때문이다. 이 발견 때문에 블랙은 근대 화학의 아버지로 불리게 된다. 라부아지에와 프리스틀리를 비롯해 동시대에 살았던 사람들은 모두 자신을 블랙의 사도로 여겼다. 다른 사람을 인정하는 데 인색했던 라부아지에조차 블랙에게 편지를 보내 그의 연구에 깊은 존경을 표시했다.

그러나 우리 이야기에서 더 중요한 것은 블랙이 발견한 기체의 성질이다. 더욱 호기심을 느낀 블랙은 방광 결석에 대한 연구를 잠시 제쳐두고 그가 발견한 고정 공기가 어떤 행동을 보이냐 연구하기로 했다. 그는 1월에 옛 스승에게 설명했던 실험을 떠올렸다. 석회에 산을 가했을 때 나오는 공기는 대리석에서 나온 것과 똑같은 고정 공기라는 것은 명백했다. 블랙은 또한 보통 공기 속에서 단순히 솟을 태우는 것만으로도 그것을 만들어낼 수 있다는 사실을 발견했다. 그리고 이

\* 대기 중에 흩어져 있는 특별한 종류의 공기—그는 학위를 받는 조건으로 논문을 발표하라는 강요를 받았다. 자신의 연구를 발표하는 것을 꺼린 그의 성격으로 볼 때 그것은 잘못된 일이라고 할 수 있다. 그러지 않았다면, 이 역사적인 실험은 우리에게 알려지지 않았을지도 모른다.

전의 실험에서와 마찬가지로, 그 고정 공기는 거슬리는 냄새가 나진 않았지만 촛불을 꺼뜨렸고, 그 속에서는 동물이 숨을 제대로 쉬지 못해 살 수 없었다.

블랙은 또한 고정 공기가 증류 과정에서 나오는 산물의 하나라는 것과 우리가 내쉬는 숨 속에도 들어 있다는 사실을 알아냈다. 그러나 그는 처음에는 그것이 우리 몸속에서 무슨 일을 하는지 제대로 파악하지 못해 고민했다. 그는 “이 공기가 우리 몸의 모든 부분과 광범위하게 결합하여 유익한 일을 많이 한다는 것은 의문의 여지가 없다. 또, 그것이 없어도 아무 불편이 없다는 생각은 아예 할 수 없다. 그렇지만 그 용도가 뭔지, 그리고 그것이 없을 경우 어떤 불편이 초래되는지에 대해서는 우리가 아는 게 없다.”라고 썼다.

그 ‘불편’에 대한 진실은 그것이 없으면 우리와 지구상에 사는 대부분의 생물이 굶어 죽는다는 것이었다.

#### 동물과 식물의 영원한 계약

블랙은 자신이 발견한 이산화탄소가 우리의 삶에서 얼마나 중요한 역할을 하는지 결코 알아내지 못했지만, 그 후 과학자들은 금방 그 중요성을 알아챘다. 라부아지에는 호흡에 관한 실험에서 사람이나 동물이 호흡을 통해 산소를 더 많이 소비할수록 더 많은 ‘고정 공기’를 만들어낸다는 사실을 알아냈다. 여기서 그는 촛불이 탄소를 기본으로 한 양초를 태우는 것과 비슷하게 우리는 탄소를 기본으로 한 음식을 태우며, 그 목적은 둘 다 에너지를 방출하기 위한 것이라고 추론했다.

탄소를 기본으로 한 물질을 산소 속에서 태우면 이산화탄소가 나올 수밖에 없다.

한편, 프리스틀리는 고정 공기와 산소 사이의 상호 작용이 식물과 어떤 관련이 있다고 보았다. 밀폐된 용기 속에 넣어둔 생쥐는 결국 숨을 쉬지 못하게 되지만, 같은 용기 속에 식물을 넣어두면 공기가 유독하게 변하는 것을 거의 무한정 막는 것처럼 보였다. 식물과 생쥐는 서로 협력하여 공기를 신선하게 유지하는 것 같았다.

이것은 그저 호기심거리에 불과한 것이 아니었다. 그 후 과학자들은 이것이 지구상에 사는 모든 생명이 살아갈 수 있게 해주는 기본 환경을 제공해준다는 사실을 알아냈다. 이산화탄소의 존재와 그것과 산소의 관계는 지구상에 사는 동식물 사이에 체결된 기본 협정 같은 것이었다.

동물은 산소를 흡수하여 음식을 태우고 이산화탄소를 노폐물로 내보낸다. 식물은 그 반대의 일을 한다. 식물은 이산화탄소를 흡수하여 영양 물질을 만들고, 노폐물로 산소를 내보낸다. (식물도 영양 물질에서 에너지를 얻으려면 호흡을 해야 한다. 그래서 만들어내는 산소 중 약 1/4을 호흡에 사용하지만, 나머지는 우리를 위해 공기 중으로 내보낸다.) 그래서 동물과 식물 사이에는 모두가 살아갈 수 있는 계약이 체결되었다. 식물은 우리가 내보내는 노폐물을 흡수하고, 우리는 그들이 내보내는 노폐물을 흡수한다. 공기는 이와 같은 영원한 교환이 일어날 수 있게 해주는, 살아 숨 쉬는 매개물이다.

이 거래에서 식물이 담당하는 부분은 지구상의 모든 식량 생산의 기본을 이루고 있다. 이러한 사실에 대한 단서를 처음 발견한 것은 17세기 중반으로, 안 밥티스타 판 헬몬트(Jan Baptista van Helmont)

라는 네덜란드 연금술사가 한 흥미로운 실험을 통해서였다. 그는 식물이 어떤 물질로 이루어져 있는지, 아니 좀 더 구체적으로는 식물을 이루는 물질이 어디서 나오는지 알고 싶었다. 그래서 그는 커다란 단지에다가 노에서 조심스럽게 말린 흙 200파운드(약 90kg)를 넣었다. 그리고 이 단지에 무게 5파운드의 어린 버드나무 묘목을 심었다. 공기 중에서 먼지가 더 들어가지 않도록 단지 위에다가 금속판을 덮었는데, 묘목 줄기 주위의 금속판에는 많은 구멍이 뚫려 있었다. 헬몬트는 집요한 사람이었다. 그는 물을 주고 관찰하고 기다리면서 5년 동안이나 실험을 계속했다. 결국 키가 아주 큰 버드나무가 자랐는데, 그 무게는 '169파운드 3온스'였다.

그렇다면 그 나무는 어디에서 왔는가? 맨 먼저 조사해야 할 부분은 단지 속의 흙이었다. 헬몬트는 흙을 꺼내 말린 다음 무게를 잴다. 줄어든 흙의 무게는 2온스밖에 되지 않았다.

이것은 그렇게 놀라운 사실로 보이지 않을 수도 있다. 집에서 식물을 키워본 사람이라면, 화분에 새 흙을 넣어주지 않아도 식물이 잘 자란다는 사실을 알고 있다. 그러나 그렇다면 버드나무의 가지와 줄기와 잎을 만든 것은 무엇이란 말인가?

헬몬트는 잘못된 추측을 했다. 그가 단지에 추가로 넣어준 것은 물 뿐이었다. 그래서 그는 경솔하게 물이 바로 그 원인이라고 발표했다. (그는 다른 문제들에서도 추론을 하는 데 그다지 논리적이지 못했다. 그가 믿었던 피상한 개념 중에는 생물이 아주 기묘한 성분에서 자연 발생적으로 탄생할 수 있다는 것도 있었다. 그는 심지어 더러운 속옷과 밀로 생쥐를 만들어내는 방법을 발표하기까지 했다. "땀이 뻘 속옷 조각을 약간의 밀과 함께 열린 단지에 넣어두면, 21일쯤 후에 냄새가 변하면서 속옷에 일어난 발효가 밀 깻지를 뚫고

들어와 밀을 생쥐로 변화시킨다.")

이 실험의 경우 문제는 나무가 식물을 만드는 중요한 재료가 되는 어떤 것에 둘러싸여 있다는 사실을 간과한 데 있었다. 버드나무 뿌리와 줄기, 가지, 잎을 만든 원재료는 그 주위를 둘러싼 공기 중의 이산화탄소였다.\* 식물은 이산화탄소를 흡수하여 탄수화물이란 영양 물질을 만든다.

식물은 일련의 복잡한 내부 반응을 통해 이 일을 하지만, 전체 결과는 단순한 것이다. 햇빛 에너지를 이용해 이산화탄소를 분해한 다음, 그것을 탄소를 기본으로 하는 분자로 만든다. 이 활동이 일어나는 규모는 실로 어마어마하다. 매년 전 세계의 녹색 식물이 이산화탄소를 전환시켜 만들어내는 식물 물질의 양은 약 1000억 톤이나 된다.\*\* 이를 위해 햇빛 에너지 약 300조 칼로리를 사용하는데, 이것은 지구상의 모든 기계가 사용하는 에너지 소비량의 약 30배나 된다. 우리가 먹는 동물 역시 식물에게서 단백질과 지방을 얻는다. 공기 중의 이산화탄소는 지구상에 사는 모든 동식물과 사람의 기본 식량 재료이다.

해초가 바닷물에서 영양 물질을 얻는 것과 같은 방법으로 식물은 영양 물질을 공기 바다에서 얻는다. 우리는 호흡을 할 때 식물이 만든 영양 물질을 식물이 토해낸 산소와 재결합하여 그 과정을 거꾸로 한다. 양자 사이의 균형은 완전하게 유지되진 않는데, 이 점은 오히려 우리에게 이로운 것으로 밝혀졌다. 오늘날 대기 중에 우리가 숨 쉴 수

\* 그 주위를 둘러싼 공기 중의 이산화탄소였다—물 중 일부가 수액을 공급하고, 성장을 촉진한 것은 사실이므로, 만 헬몬트의 생각 중 일부는 옳다. 그러나 고체 물질은 모두 공기 중에서 왔다.

\*\* 식물 물질의 양은 약 1000억 톤이나 된다—예를 들면 영국의 존인스센터가 켈시 꽃 박람회들을 위해 준비한 "만약 여러분이 식물이라면, 인생은 기체입니다."를 보라. <http://www.jc.bbsc.ac.uk/chelsea/handouts2004.htm>에서 볼 수 있다.



있는 산소가 남아 있는 유일한 이유는 식물이 만든 물질 중 일정량을 따로 저장하여 동물이 그것을 먹고 호흡을 통해 다시 이산화탄소로 되돌아가지 못하게 하기 때문이다. 그 비율은 아주 작아 식물이 만들어내는 전체 물질 중 0.01%에 불과하지만, 이 때문에 식물이 만들어낸 같은 비율의 산소가 자유롭게 대기 중으로 빠져나갈 수 있다. 수십억 년이 흐르는 동안 이렇게 빠져나간 산소가 쌓여 우리가 살아갈 수 있는 대기가 만들어졌다.

일부 연구자는 동물과 식물 사이의 협정을 전투와 비슷한 것으로 본다. 과거 어느 시기에는 식물 쪽이 유리했다. 예를 들면, 약 4억 년 전에 식물은 나무의 목질부로 변하는 딱딱한 물질인 리그닌(lignin)을 만드는 방법을 터득했다. 동물계의 어느 종도 이 낯선 물질을 소화하지 못했고, 그래서 이 부분은 동물에게 먹히거나 호흡을 통해 이산화탄소로 변해 대기로 돌아가지 않게 되었다.

그러나 얼마 후 동물계에 두 강자가 나타났으니, 바로 흰개미와 공룡(초식성)이었다. 이 두 종은 리그닌을 소화할 수 있었고, 그 결과 대기 중의 이산화탄소 농도가 다시 올라갔다. 이 상황은 공룡이 멸종할 때까지 계속되다가 공룡이 멸종하고 나서 식물은 광대한 초원을 이루는 법을 터득했고, 균형의 추는 다시 식물 쪽으로 기울어졌다.

이것은 단지 식물의 자존심을 세운 것 이상의 의미가 있었다. 대기 중의 이산화탄소량에 간섭하는 것은 심각한 결과를 초래하는 것으로 드러났기 때문이다. 이산화탄소는 우리에게 식량을 제공할 뿐만 아니라 생명이 살아갈 수 있게 지구의 환경을 유지하는 데 또 한 가지 중요한 역할을 담당하고 있다.

## 틴들의 상상력

그것을 발견한 사람은 19세기 중반에 런던에서 절정의 인기를 누리고 있던 왕립연구소에서 교수로 일하고 있던 아일랜드 물리학자 존 틴들(John Tyndall)이었다.

왕립연구소는 틴들 같은 사람에게는 아주 이상적인 장소였다. 틴들은 이곳 지하실에 마련된 실험실에서 연구를 하고, 지상의 유명한 강연장에서 과학에 대한 강연을 할 수 있었다. 과학은 런던 시내에서 큰 인기를 끈 엔터테인먼트가 되었다. 왕립연구소의 강연이 얼마나 인기가 있었는지, 엘버말 거리는 마차들의 충돌을 피하기 위해 영국 최초의 일방통행 도로로 지정되었다. 왕립연구소의 불편한 나무 벤치에 앉으려고 몰려든 사람은 비단 과학자뿐만이 아니었다. 시인과 정치인, 지식인, 귀족을 포함해 런던 상류 사회 인사들이 대거 강연을 들으러 왔다.

틴들은 강연을 하는 걸 좋아했다. 아마도 20대 후반에야 수준 높은 교육을 시작하여 과학 연구에 늦게 뛰어든 게 하나의 원인이 되지 않았나 싶은데, 그는 자신이 발견한 것이 세상에 알려지지 않은 채 그냥 지나가는 것을 참지 못했다. 그는 가르치는 것보다는 자신이 발견한 사실을 사람들에게 알리는 데 더 관심이 많았다. 그는 자신의 강연을 브로드웨이의 쇼로 공연하기 위해 발레 작품으로 만들었고, 그것을 성공시키기 위해 전전공공했다. 어느 날 강연을 준비하던 틴들은 탁자 위의 실험 도구 하나를 툭 건드리는 바람에 그것이 떨어졌는데, 재빨리 몸을 날려 그것이 땅에 떨어지기 전에 붙잡았다. 그 효과가 아주 마음에 든 그는 그것을 몇 시간 동안이나 반복 연습했다. 그날 저녁,

그가 '우연히' 그 묘기를 청중 앞에서 반복하자, 청중은 강연장이 떠나갈 듯이 박수갈채를 보냈다.

그렇게 노력한 보람이 있었다. 틴들이 강의를 한다는 소문이 나돌면, 그날 왕립연구소 강연장은 사람들로 꽉 들어찼다. 왕립연구소뿐만이 아니었다. 왕립공업학교에서 틴들이 글을 모르는 노동자들을 위해 하는 강연에도 600명 이상의 청중이 몰려들었다. 한 비평가는 "틴들 교수는 대중을 이류 지식만 접할 자격이 있는 사람들로 본 적이 결코 없다. 그들은 틴들 교수가 제공할 수 있는 가장 높고 순수한 지식에 접할 수 있었다."라고 평했다. 틴들이 미국 순회 강연에 나섰을 때에는 <뉴욕 데일리 트리뷴>지에서 그를 다음과 같이 평했다.

틴들 교수의 강연 방식을 보면 그의 진면목을 충분히 짐작할 수 있다. 강의는 매우 즐겁고 일상적인 대화체를 사용하며, 거만함은 전혀 찾아볼 수 없고 개인적인 열정이 넘쳐서, 그가 보여주는 경이로운 것들이 청중뿐만 아니라 그 자신에게조차 새로운 것인 양 느껴진다. 그는 앞으로 다가올 들어보지 못한 아름다운 것들을 약속하고 청중을 그 딱딱한 곳으로 인도하면서 과학을 쉽게 만든다. 요컨대 그는 아주 이상적인 과학 강연자이다.

틴들은 충동적이고 열정적이면서도 진지했다. 그는 코가 아주 컸고 코끝은 뾰족했으며, 코 양쪽으로 깊게 파인 두 줄의 선이 우아한 호를 그리며 입 양쪽 가장자리로 흘러내렸다. 말년에는 얼굴은 말쑥하게 면도를 했지만, 턱과 목 주위를 덮는 빅토리아풍의 하얀 턱수염을 길렀다. 그는 열을 낼 때도 있고, 때로는 독선적이기도 했지만, 재미있

는 면모도 있어 어린이들이 좋아했다. 그는 재치 있는 말을 하기보다는 짓궂은 장난을 즐기는 쪽이었지만, 다른 사람의 말장난에 대해서는, 친구인 진화론자 토머스 헉슬리(Thomas Huxley)의 표현에 따르면 '관대하긴 하지만 무표정한 당혹감'을 나타냈다.

틴들은 헉슬리와 과학을 좋아하는 친구 7명과 함께 'X 클럽'이라는 유명한 토론 집단을 만들었는데, 이름을 그렇게 정한 것은 많은 시간 동안 논의를 거듭했는데도 더 좋은 이름에 합의할 수 없었기 때문이다. 창립자들은 신입 회원의 가입 문제를 놓고도 장시간 논의했는데, 토론이 지긋지긋해지자 결국 신입 회원의 이름이 기존 회원의 이름에 사용되지 않은 자음들이 모두 들어가 있지 않은 한, 그를 받아들이지 않기로 합의했다. 헉슬리는 훗날 "슬라브어권 친구를 데려오지 않는 한, 이 결정으로 신입 회원의 가입은 사실상 막을 내렸다."라고 말했다. 사람들은 틴들이 X 클럽의 회원이라는 사실을 그가 가끔 보여준 극단적인 편향성과 결부시켜 그에게 '엑센트릭(Xccentric, 괴짜)'이란 별명을 붙여주었다.

틴들의 시인 친구들 중에는 과학에 대한 이해가 자연에 대한 감상을 죽일 수 있다고 불평하는 사람이 있었는데, 틴들은 이러한 주장에 분노했다. 그는 세계를 더 잘 이해할수록 경이로운 것을 더 많이 발견할 수 있었고, 뛰어난 설명 능력으로 많은 사람들을 자신과 같은 생각으로 이끌 수 있었다. 그는 과학에는 상상력이 필요하다고 말했다. (그가 만들어낸 '상상력의 과학적 이용'이란 표현은 훗날 셉록 홈스가 <메스커빌 가의 개>에서 인용한다.)

틴들은 특히 보이지 않는 원자와 분자 세계에서 일어나는 일에 큰 흥미를 느꼈다. 그 당시에는 이 작은 입자들의 움직임을 포착할 수 있

는 현미경이 없었다. 따라서, 그것에 대해 연구할 수 있는 유일한 방법은 논리적 사고와 뛰어난 상상력을 결합하는 것뿐이었다. 틴들은 두 가지 능력이 모두 뛰어났다. 헉슬리는 틴들을 이렇게 평했다. “물리 문제를 다룰 때, 나는 그가 어떤 의미에서 원자와 분자를 보고, 그것들이 밀고 당기는 것을 느낀다는 생각이 강하게 든다.” 틴들도 그렇게 생각했다. 복사에 관한 강연 말미에 그는 이렇게 말했다. “어떤 사람은 자연과학이 상상력을 죽이는 효과가 있다고 말합니다.…… 그러나…… 자연과학에 대한 연구는 상상력의 문화와 손을 잡고 나란히 나아갑니다. 이 강연의 많은 부분에서…… 우리는 원자와 분자를 우리 눈으로 본 적도 없고 귀로 들은 적도 없고, 오로지 상상력으로만 파악할 수 있는 진동과 파동으로 그렸습니다.”

보이지 않는 것을 그림으로 그려보고 이해하는 이 능력이야말로 공기의 행동을 연구할 수 있는 완벽한 배경이 되었다. 그러나 처음에 틴들은 대기에 별로 관심을 보이지 않았다. 그는 자기(磁氣)와 절정의 압축에 더 큰 관심을 보였다. 그러나 이것은 빙하의 움직임에 대한 관심으로 이어졌는데, 그러한 현상을 연구하기 위해 알프스 산맥에 야외 조사를 나갔다가 처음으로 대기에 흥미를 느끼게 되었다.

틴들은 산을 좋아했다. 그는 다리가 튼튼하고 용감한 등산가였다. 과학의 직감을 따르기 위해 틴들은 기꺼이 얼음 절벽을 기어올라가고, 낙석을 피하고, 크레바스가 군데군데 나 있는 빙원을 걸어갔다. 한번은 과학을 위해 제양 빙하의 세락(sera, 빙하의 크레바스가 교차하는 부분에 생기는 커다란 얼음탑-옮긴이)을 지나가다가 정말로 공포를 느꼈다. 그렇지만 훗날 그는 그때의 일을 즐거워하며 이렇게 이야기했다.

어느 방향으로 가든지 간에 항상 우리 앞에는 위험이 도사리고 있었다……. 한 번인가 두 번인가는 얼음 봉우리 꼭대기에 서서 발밑의 구덩이와 갈라진 틈을 내려다보고 있었는데…… 초기 단계의 공포가 확 엄습하는 걸 느꼈다. 그렇지만 그것은 곧 그 뒤에 일어난 행동 때문에 파묻히고 말았다. 실제로 그때는 상황이 아주 나빠, 격렬한 힘을 쓰는 게 너무나도 절실한 나머지 의지에 거의 필사적인 에너지가 실려 막 자라나던 공포를 싸그리 짓뭇개버렸다.

스위스로 여행을 갔을 때, 틴들은 알프스 산맥의 하늘에 매료되었다. 산 위에서 하루를 보낸 뒤에 그는 이렇게 썼다. “대기의 움직임은 너무나도 멋졌다. 알프스 산맥의 매력 중 절반은 공기의 변덕에 달려 있다.” 심지어 그는 이전에 한 번도 느끼지 못한 어떤 방식으로 자신이 공기와 연결돼 있다고 느꼈다. 그는 “사실상 우리는 하늘 밑에서 사는 게 아니라 하늘 안에서 살고 있다.”라고 말했다.

일단 공기에 관심을 갖게 되자, 틴들은 곧 그것을 이해하고 싶은 충동에 사로잡혔다. 산악 여행은 늘 과학적 목적을 위해 떠났다. 사실, 그것을 이해하려고 노력하지 않는다면, 경치를 어떻게 감상할 수 있겠는가? 그렇지만 과학적 자세가 덜한 다른 알파인 클럽 회원들까지 그렇게 생각했던 것은 아니다. 어느 해엔가 클럽의 겨울 만찬 자리에서 사회자가 너무 과학에만 집착하는 틴들의 태도를 살짝 비꼬았다. 그는 사이버 등산에 대해 이야기하면서 다음과 같은 이야기로 마무리를 지었다.

나로서는 도저히 이해할 수 없는 추론 과정을 거쳐 알프스 여행을 과학과

폐려야 뭘 수 없게 연관시킨 열광적인 한 애호가는 “당신은 어떤 철학적 관찰을 하셨나요?” 라고 물을 것입니다. 나는 그들에게 이렇게 대답할 것입니다. 온도는 화씨로 영하 212도 정도였고, 오존은 만약 대기 중에 그 게 존재한다면 내가 생각한 것보다 훨씬 더 바보였다고.

틴들은 결코 자신의 과학 연구를 가볍게 생각한 적이 없었다. 큰 모욕을 느낀 그는 즉시 그 클럽에서 탈퇴하고 말았다.\*

틴들은 대기를 연구하면 산맥이 던진 큰 수수께끼를 푸는 데 도움이 될 것이라고 생각했다. 그가 사랑한 알프스 산맥에는 역사상 어느 시기에 ‘빙하 시대’가 있었다는 증거가 널려 있었다. 오래전에 사라진 빙하가 내려가면서 깎아낸 흔적이 남아 있는 빙하, 얼음에 실려서 원래 있던 자리에서 멀리까지 이동한 바위들, 뒤죽박죽 널려 있는 돌더미, 빙퇴석 등은 지금 있는 빙하들이 과거 언젠가에는 그 범위가 훨씬 멀리까지 뻗어 있었음을 이야기해주었다. 한때 세상은 어떻게 그렇게 추울 수가 있었으며, 어떻게 다시 따뜻해졌을까? 틴들은 대기 중에 일어난 미소한 변화에 그 답이 있는 게 아닐까 생각했다.

특히 틴들은 대기가 지구 주위를 감싸는 담요 역할을 하며, 그 구성 성분들의 상대적 비율이 변화에 따라 때로는 지구를 따뜻하게 하고 때로는 차갑게 하는 게 아닐까 의심했다. 그가 이런 생각을 하게 된

\*즉시 그 클럽에서 탈퇴하고 말았다—틴들은 비판에 과민 반응을 보이는 경향이 있었다. 33세라는 비교적 이른 나이에 그는 매년 왕립학회가 수여하는 두 개의 로열 메달 중 하나를 제의받았다(이것은 큰 영광이었는 데, 그해에 또 한 사람의 수상자가 찰스 다윈이었다는 사실 때문에 더욱 그렇다). 그는 그것을 수락하려고 했는데, 위원회의 한 위원이 그 수상 결정에 반대했고, 심한 불만을 품고 있다는 이야기를 들었다. 그는 즉시 왕립학회의 사무총장에게 정중하게 수상을 거절하는 편지를 보냈다. 학슬리가 그의 마음을 돌리려고 애썼지만 틴들은 완강했다. 훗날 학슬리는 최소한 그것은 ‘일종의 실수’였다고 하면서 무미건조하게 그것은 ‘모방자를 너무 많이 만들어내는 해를 끼칠 것 같지는 않다’ 라고 덧붙였다.

것은 수십 년 전에 조제프 푸리에(Joseph Fourier)라는 프랑스 과학자가 발견한 효과 때문이었다. 푸리에에 지구가 과거에는 지금보다 훨씬 추웠던 게 분명하다고 주장했다. 우리는 지구가 생명이 살 수 있는 완벽한 위치에 있다고 생각하는 경향이 있다. 가장 가까운 두 이웃 행성 중에서 금성은 태양에 너무 가깝고 뜨거워서 생명이 살 수 없고, 화성은 태양에서 너무 멀고 추워서 생명이 살 수 없다. 그렇지만 지구는 액체 상태의 물이 존재하고, 상쾌한 미풍이 불고, 안락하고 쾌적한 기온의 행성이 되기에 ‘딱 알맞은’ 위치에 있다. 그러나 푸리에에 실제로는 지구는 어떤 도움이 없다면 생명이 살아가기에는 태양에서 조금 먼 거리에 있다는 사실을 깨달았다.

지구에 도착한 햇빛이 지닌 에너지는 단순히 지구에 머물러 있지 않는다. 중앙 난방 방열기처럼 따뜻해진 지구는 열 에너지를 우주 공간으로 내보내기 시작한다. 이 두 가지 효과 사이의 균형이 지구의 자동 온도 조절 장치를 조작한다. 이런 식으로 지구에 도착하는 열 에너지와 빠져나가는 열 에너지의 차를 계산해본 푸리에에 당황하지 않을 수 없었다. 그 결과에 따르면, 지구는 영원히 뽕뽕 얼어붙어 있어야 했기 때문이다.

푸리에에 공기 중의 무엇이 여분의 열을 지표면에 붙들어두어 우리가 쾌적하게 살아갈 수 있게 도움을 주지 않나 추측했지만, 무엇이 그런 일을 하는지 알 수 없었다. 틴들은 푸리에가 한 연구를 생각하다가 그의 추측이 옳다고 판단했다. 만약 수수께끼의 그 성분을 찾아내기만 한다면, 과거에 지구의 기후가 왜 그렇게 달랐는지 알 수 있을 것이다.

그래서 1859년 여름에 틴들은 왕립연구소 지하에 인공 하늘을 만

들기 시작했다. 그것은 빅토리아 시대의 과학 장비로 만든 아주 훌륭한 작품이었다. 기다란 원통 속에 기체를 채우고, 그 주위를 열과 빛 발생원, 그리고 문의의 호느적거리는 축수처럼 생긴 관들로 에워싼 것이었다.

틴들은 자신이 만든 미니 대기를 가지고 실험하는 것을 좋아했다. 거기에서 백색광을 비춰주면, 공기 중의 작은 입자들이 다른 색 빛보다도 파란색 빛을 더 많이 산란시켰다. 그것을 보고 그는 하늘이 파란 이유\*가 바로 여기에 있지 않을까 하고 추측했다. 바다에서도 비슷한 효과가 나타나는데, 아주 작은 진흙 입자들이 파란색 빛을 더 많이 산란시킨다. 틴들은 강연에서 이 점을 설명하면서 “이 자리에 모인 청중 중에는 사람들의 찬사를 받는 파란 눈을 가진 여성들이 있을 텐데, 실은 그 파란 눈의 매력은 진흙처럼 탁한 데서 비롯된 것입니다.”라고 말했다. 안개 낀 날 밤에 자동차를 타고 드라이브를 해보면 이 ‘틴들 효과’를 직접 볼 수 있다. 헤드라이트 불빛이 안개 속에 떠 있는 물 입자들에 산란되어 매력적인 파르스름한 빛으로 보일 것이다.

그렇지만 틴들이 정작 알고 싶었던 것은 어떻게 대기가 예상한 것보다 더 많은 열을 붙잡아둘 수 있느냐 하는 것이었다. 그는 가열 동식의 양변을 생각해보았다. 먼저, 지구를 가열하는 태양 가시광선을 생각해보았다. 태양 광선은 아무런 방해도 받지 않고 하늘을 통과하는 게 분명했다. 그렇지 않다면 그것은 지표면에 닿지 못할 테고, 하늘은 영원히 캄캄할 것이며, 우리는 태양도 달도 별도 보지 못할 것이다. 그렇다면 답은 가열 제울의 반대편, 그러니까 지구가 에너지를 우

주 공간으로 내보내는 부분에 있을 가능성이 높았다.

주변보다 온도가 더 높은 물체는 열을 내보낸다. 나와 여러분도 그렇고, 모든 온혈 동물은 열을 내보낸다. 그러나 우리는 서로의 몸에서 빛이 나오는 것을 볼 수 없는데, 우리 몸에서 나오는 빛은 눈에 보이지 않는 빛이기 때문이다. 빛은 눈에 보이는 무지개 색의 빛(가시광선)만 있는 게 아니다. 추파수가 너무 높거나 낮은 소리가 우리 귀에 들리지 않듯이, 진동수가 너무 높거나 낮은 빛 역시 우리 눈에 보이지 않는다. 우리 몸에서 나가는 보이지 않는 빛은 적외선이다. 적외선은 무지개의 빨간색 부분 바깥쪽에 위치한 빛으로, 진동수가 너무 낮아 우리 눈에 보이지 않는다. 텔레비전이나 스테레오를 작동시키는 리모컨도, 캄캄한 밤에 움직이는 사람의 모습을 유령 같은 형태로 보여주는 야간 투시경도 적외선을 이용한다. 지구에서 우주로 빠져나가는 열도 적외선의 형태로 나간다.

틴들은 적외선에 대해서는 잘 알고 있었다. 그는 대기가 우주 공간으로 빠져나가는 적외선을 붙들어 지구를 따뜻하게 하는지 알아보기로 했다. 그렇다면 인공 대기에는 어떤 기체들을 포함시켜야 할까? 조지프 블랙이 선구적인 실험을 한 지 150년이 지난 이때에는 과학이 상당히 발전해 있었다. 대기가 많은 종류의 기체로 이루어져 있다는 사실은 누구나 알고 있었지만, 대부분의 종류는 극소량만 존재했다. 질소와 산소가 공기의 대부분을 차지하고 있었기 때문에, 틴들은 이들 기체부터 조사해보기로 했다. 그러나 이 두 기체는 적외선을 붙들지 못했다. 적외선은 질소와 산소를 그냥 통과했고, 그와 함께 열도 빠져나갔다.

그러던 어느 날, 틴들은 별 기대도 하지 않고 또 다른 성분을 시험

\*하늘이 파란 이유—그의 추측은 정답에 근접했다. 사실은, 하늘의 파란색은 훗날 물리(Raleigh) 정이 증명했듯이, 공기 입자가 빛을 산란해서라기보다는 공기 분자 자체에서 비롯된다.

해보기로 했는데, 이번에 선택한 기체는 이산화탄소였다. 그것은 도저히 가망이 없어 보였다. 공기 중 차지하는 비율로 보면 질소가 79%, 산소는 20%인 반면, 이산화탄소는 겨우 0.04%밖에 되지 않았다. 이렇게 적은 양의 기체가 그렇게 엄청난 효과를 일으킬 수 있으리라곤 생각도 할 수 없었다.

그럼에도 불구하고, 틴들은 자신의 모형 대기 한쪽에다 열원(끓는 물을 채운 구리 정육면체)을 비추어주면서 어떤 일이 일어나나 관찰했다. 놀랍게도, 측정 장비의 바늘이 즉각 움직이기 시작했다. 그렇게 적은 양인데도 이산화탄소는 적외선을 엄청나게 많이 흡수했다.

이산화탄소는 그 분자가 비교적 크고 복잡하기 때문에 적외선을 아주 잘 흡수할 수 있다. 분자가 빛 에너지를 흡수하는 것은 소리굽쇠처럼 진동하거나 곡예사처럼 재주를 넘기 위해서이다. 복잡한 분자는 단순한 분자보다 이런 일을 할 수 있는 방법이 더 많다. 총명하고 상상력이 뛰어난 틴들은 기술 발전으로 그것이 사실이라는 것이 밝혀지기 훨씬 전에 이미 그 사실을 짐작했다. 그는 이렇게 말했다. “화합물 분자는…… 단일 원자보다 훨씬 다양하게 운동을 받아들이고 만들어 낼 수 있는 게 틀림없다.” 산소 분자( $O_2$ )와 질소 분자( $N_2$ )는 단일 원자가 아니다. 각각은 같은 원소의 원자 2개로 이루어져 있다. 그렇지만 이들은 적외선을 흡수하기에는 너무 단순하다. 움직일 수 있는 선택 방법이 충분히 많지 않다. 그러나 이산화탄소는 다르다. 이산화탄소는 탄소 원자 1개와 산소 원자 2개로 이루어져 있으며, 자유롭게 진동하고 회전할 수 있다. 이산화탄소가 복사 에너지를 잘 흡수하고, 극소량의 이산화탄소가 그렇게 큰 효과를 발휘하는 것은 이 때문이다.

틴들은 수증기가 이산화탄소보다 적외선을 훨씬 더 잘 흡수한다는

사실을 발견했다. 사실, 대기에는 매탄, 오존, 그리고 오존층을 파괴하기까지 하는 인공 화합물을 포함해 적외선을 잘 흡수하는 물질이 다양하게 존재한다. 현재까지 적외선을 흡수하는 효과가 가장 큰 기체는 수증기로 밝혀졌는데, 무게당 효율성이 뛰어나서 그런 게 아니라, 대기 중에 수증기가 비교적 많이 존재하기 때문에 그렇다. 그래도 이산화탄소는 기후 변화에 큰 영향력을 행사하는데, 대기 중의 이산화탄소 비율이 조금만 변해도 기온이 크게 변하기 때문이다. 따뜻한 공기는 바다에서 더 많은 수증기를 증발시켜 머금을 수 있기 때문에, 이산화탄소와 수증기, 이 두 기체가 지구를 따뜻한 담요처럼 감싸 우리 모두가 살아갈 수 있게 해준다.

틴들의 이 직관은 그 유명한 ‘온실 효과’가 지구의 기후에 미치는 영향을 이해하는 출발점이 되었다. 온실 효과란 용어는 사실은 잘못 붙인 이름이다. 온실은 그 내부에 주로 공기를 가둬으로써 내부를 따뜻하게 하는 효과를 얻기 때문이다. 온실 유리는 빛을 통과시켜 공기를 따뜻하게 데우는 반면, 이렇게 따뜻해진 공기가 밖으로 빠져나가지 못하게 차단한다. 대기 중의 기체들은 이런 방식으로 작용하지 않는다. 따뜻한 공기를 붙잡아두는 게 아니라 지표면에서 우주 공간으로 빠져나가는 적외선을 붙든다. 그러면 그 에너지를 받은 공기 분자는 잠깐 진동하다가 공을 잡은 야수가 공을 돌려보내는 것처럼 그 에너지를 도로 지표면으로 돌려보낸다. 그렇지만 야수와는 달리 공기 분자들은 에너지를 아무 방향으로나 내보내기 때문에, 그 중 일부는 우주 공간으로 빠져나간다. 그럼에도 충분히 많은 양이 지표면으로 되돌아가기 때문에 우리의 생명을 유지해주는 혈액인 물이 얼지 않을 정도로 지구를 따뜻하게 해준다.

탄들은 이 효과를 시적으로 표현했다. 그는 만약 그게 없다면 “우리의 들과 정원의 온기는 일방적으로 우주 공간으로 쏟아져나갈 것이고, 태양은 서리의 손아귀에 단단하게 붙들린 섬 위로 떠오를 것이다.”라고 말했다.

탄들과 동시대 사람들은 이산화탄소를 오늘날 우리가 생각하는 것처럼 위협의 대상으로 보지 않았다. 오히려 지구상의 생명을 유지해주는 고마운 존재로 보았다. 그렇지만 탄들은 대기 중의 이산화탄소 농도가 아주 낮기 때문에, 과거에 그 양에 조금의 변화만 일어났더라도 알프스 산맥에 그 분명한 흔적을 남긴 빙하 시대 같은 큰 기후 변동이 일어났을 것이라고 추측했다. 그리고 ‘지질학자들의 연구를 통해 드러난 그 모든 기후 변동’의 원인이 이것일지도 모른다고 말했다.

탄들은 그것을 제대로 인식하지 못했지만, 그것은 바로 이산화탄소가 지닌 부정적인 면을 시사하는 최초의 단서였다. 이산화탄소가 모든 식량의 중요한 원천이 되고, 그것이 없으면 우리 모두가 일어 죽는다는 것은 사실이다. 그러나 산소와 마찬가지로 이산화탄소 역시 좋은 것도 지나치면 독이 되는 효과를 나타낸다. 우리를 보호해주는 영웅의 이면에는 지구 온난화라는 치명적인 효과를 초래하는 악당이 자리 잡고 있다.

#### 테러보다 더 무서운 위협

1896년, 스웨덴 스톡홀름.

스반테 아레니우스(Svante Arrhenius)는 좌절에 빠졌다. 37세인 그는

얼마 전에 힘든 이혼 절차를 끝냈는데, 단지 아내만 잃은 것이 아니라 어린 아들의 양육권까지 뺏기고 말았다. 눈 밑에 처진 살과 입 양쪽으로 날카롭게 뻗은 코밑수염까지 그의 불행한 처지를 더 비참해 보이게 했다. 그는 뭔가 마음을 돌릴 만한 것이 필요했다. 그렇지만 어떤 게 있을까?

아레니우스는 과학자였는데, 주로 연구한 분야는 전기를 전달하는 액체의 화학에 관한 것이었다. 5년 후 그는 훌륭한 연구 업적으로 노벨상을 타게 되는데, 아마도 그의 졸업 논문 심사위원들은 이 사실에 몹시 당황했을 것이다. 그의 논문을 ‘보통’으로 평가하고, 간신히 통과시켜주었기 때문이다. 그러나 아레니우스는 평소에 늘 연구하던 주제 말고, 한동안 폭 빠져 지낼 수 있는 어떤 것을 찾고 있었다. 기분 전환을 원했던 것이다.

바로 그때 이산화탄소가 빙하 시대를 초래하는 데 큰 역할을 했을지도 모른다는 탄들의 주장이 눈에 들어왔다. 아레니우스는 이 개념에 큰 흥미를 느끼고 그것을 깊이 파고들기로 결심했다. 이론과학자였던 그는 빙하 시대를 도래하게 하려면 대기 중에서 이산화탄소가 얼마나 많이 감소해야 하는지 계산해보기로 했다.

그것은 처음에 생각한 것보다 훨씬 복잡했다. 대기 중의 이산화탄소 감소로 인한 직접적인 냉각 효과만 따져서는 안 된다는 사실을 금방 깨달았기 때문이다. 그것 말고도 고려해야 할 중요한 효과가 더 있었다. 특히 찬 공기는 머금을 수 있는 수증기량이 적어 바다에서 물을 덜 증발시킨다는 사실도 고려해야 했다.

탄들이 지적했듯이 수증기는 아주 효과적인 온실 기체이기 때문에 이 사실은 아주 중요하다. 대기 중의 수증기량이 줄어들면 대기는 더

욱 냉각된다. 다시 말해서, 이산화탄소량에 약간의 변화만 일어나더라도, 기후에 큰 변화가 일어날 수 있다. (이것은 이산화탄소 농도가 기후에 미치는 영향이 얼마나 큰지 잘 설명해준다. 많은 비판론자들은 대기 중에서의 온실 효과를 일으키는 주인공은 수증기라는 사실을 지적했다. 절대적인 효과로 따진다면, 이산화탄소는 그것보다 현저히 떨어지는 2위를 차지한다. 그러나 이산화탄소 농도가 조금만 변해도 수증기량에 큰 변화를 초래하기 때문에 전체적인 효과에 큰 변화를 가져온다는 아레니우스의 생각은 옳았다. 이런 효과 때문에 이산화탄소는 무게에 비해 훨씬 큰 파괴력을 발휘한다.)

아레니우스는 답을 찾으려면, 이산화탄소의 직접적 효과와 간접적 효과를 함께 고려해야 한다는 사실을 깨달았다. 그러려면 길고도 지루한 계산을 해야 했다. 완벽했다! 그는 마음을 딴 데로 돌릴 수 있는 바로 그런 것을 찾고 있던 참이었으니까. 그는 연필과 종이를 붙잡고 앉아 몇 달 동안 계산에 매달렸다.

우선, 이산화탄소가 절반으로 줄어든 세계를 상상해보았다. 그리고 나서 모든 위도 구역에 대해 공기 중의 수증기량과 지구를 드나드는 빛 에너지의 양을 계산했다. 오랜 계산 끝에 마침내 답을 얻었다. 그것은 많은 가정을 전제로 하여 얻은 대략적인 값이었으나, 이산화탄소량의 변화가 초래하는 효과를 수치로 환산하려는 최초의 시도였다. 이산화탄소 농도가 절반으로 줄어들면 전 세계의 기온은  $5^{\circ}\text{C}$  정도 내려가는 것으로 나왔다. 그는 그 정도면 빙하 시대를 초래하기에 충분하다고 생각했다.

아레니우스는 대기과학자가 아니라 이론 화학자였다. 그는 계산에 대입할 이산화탄소량을 임의로 선택했고, 그것이 현실적인 값인지 제대로 알지 못했다. 그래서 동료에게 자문을 구하기로 했다. 아르비드

회그봄(Arvid Högbom)은 이미 화산에서 자연적으로 발생하는 이산화탄소량과 지구의 암석과 바다로 사라지는 이산화탄소량에 대한 추정치를 갖고 있었다. 그는 만약 일부 화산이 한동안 활동을 멈추거나 바다가 이산화탄소를 흡수하는 것을 방해하는 어떤 사건이 일어날 경우 대기 중의 이산화탄소량이 줄어들 수 있다고 말했다. 그런데 회그봄은 수치를 다루다가 흥미로운 사실을 발견했다. 이산화탄소량이 줄어드는 것에 대해서는 걱정하지 않아도 될 것 같았다. 이산화탄소량은 화산이나 바다 혹은 다른 어떤 자연적 과정과는 무관하게 이미 증가하고 있었다. 산업 혁명 이후에 우후죽순으로 생겨난 공장들을 돌리기 위해 사람들은 사상 유례 없는 규모로 석탄을 태고 있었다. 그리고 그 과정에서 막대한 양의 이산화탄소가 발생했다. 사람들이 만들어내는 이산화탄소량은 자연적으로 방출되는 규모와 엇비슷했다.

회그봄은 이 사실에 특별히 경각심을 느끼지는 않았다. 산업 혁명의 절정기에 있는 것처럼 보인 1896년에도 한 해 동안 석탄을 태서 발생한 이산화탄소는 대기 중의 이산화탄소 농도를 그다지 크게 높이지 않았기 때문이다(겨우 1/1000 정도). 그는 세계 인구가 얼마나 급속도로 증가할지, 그리고 산업화 과정이 얼마나 빨리 가속화될지 전혀 짐작하지 못했다. (하키야 어느 누가 정확하게 짐작했겠는가?) 그렇지만 그가 얻은 결과는 아레니우스가 생각을 계속해나가는 데 도움을 주었다.

아레니우스는 가열 과정은 냉각 과정과 정확하게 정반대라는 사실을 깨달았다. 찬 공기는 수증기를 적게 포함하고, 따뜻한 공기는 많이 포함한다. 따라서, 대기 중의 이산화탄소 농도가 높으면 그 자체만으로도 기온을 상승시키는 효과가 있지만, 그것은 바다에서 더 많은 물



을 증발하게 하여 기온을 더욱 상승시킨다. 아레니우스는 또다시 계산에 몰두했다. 만약 이산화탄소 농도가 1896년 수준의 두 배로 증가한다면 어떻게 될까? 그럼에도 전체 공기 중에서 차지하는 비율은 여전히 미미하지만, 아레니우스는 기온이 최고 5°C까지 상승할 것이라고 예측했다. 그 정도라면 대수롭지 않은 것으로 보일지 모르지만, 전 세계의 평균 기온이 이 정도로 오른다면, 전체 기후에 엄청난 변화가 일어날 수 있다. (놀랍게도, 이것은 오늘날 많은 컴퓨터 모형이 복잡한 계산과 기후의 작용에 관한 방대한 지식을 사용해 얻은 결과와 아주 비슷하다. 100년도 더 전에 첨단 장비와 방법에 전혀 접근할 수 없었던 아레니우스가 거의 정확히 예측한 것이다.)

아레니우스의 발견은 약간 흥미를 끌긴 했으나 큰 관심은 받지 못했다. 산업 발전이 대략 같은 속도로 진행된다고 가정했을 때, 이산화탄소 농도가 두 배로 늘어나는 데에는 수천 년이 걸릴 것으로 보였고, 따라서 아레니우스의 계산은 염려해야 할 현안이 아니라 그저 흥미거리로 간주되었기 때문이다. 또, 설사 온난화 과정이 훨씬 빨리 진행된다고 하더라도, 그 시대는 기술을 무조건 좋은 것으로 여기던 시절이었다. 그리고 세상이 좀더 따뜻해진다고 해서 그것이 꼭 나쁘다고 볼 이유가 있을까? 발터 네른스트(Walter Nernst)란 과학자는 기후가 따뜻해지면 오히려 세상이 좋아질 것이라고 보았다. 그래서 쓸모없는 석탄층을 태워 지구의 기온을 일부러 높이자고 제안했다.

그러나 아레니우스의 계산이 완전히 잘못된 것임을 보여주는 실험 결과들이 발표되자, 이러한 종류의 추측들은 쑥 들어가고 말았다. 한 연구자는 그 당시와 같은 농도로 이산화탄소가 들어 있는 관 속으로 적외선을 통과시키는 실험을 했다. 튜브가 발견한 것처럼 일정량의

빛이 차단되었다. 그런데 이산화탄소 농도를 두 배로 높여도 결과에는 아무 변화가 없었다. 역시 똑같은 양의 적외선이 기체 속으로 사라졌다.

어떻게 이런 일이 일어났을까? 이산화탄소 농도를 높이면 더 많은 적외선이 차단되는 것이 당연하다. 그러나 이산화탄소는 흡수하는 빛의 파장에 대해 까탈스러운 것으로 드러났는데, 적외선 중에서도 일부 제한된 '색'만 흡수한다. 그렇게 선택적이기 때문에 소량의 이산화탄소만으로도 그 범위에 있는 색의 적외선을 모조리 다 흡수할 수 있었다. 그런 다음에 관 속에서 이산화탄소의 양을 두 배, 세 배로 늘려봐야 나머지 적외선은 아무 탈 없이 관을 통과하고 말 것이다.

얼마 후, 또 다른 이견이 제기되었다. 바다에는 막대한 양의 이산화탄소가 들어 있다(대기 중에 있는 것보다 약 50배나 많이). 따라서, 공장에서 배출되는 이산화탄소는 대부분 이 광대한 저수지에 흡수되고, 극히 일부만이 대기 중에 머물 것이라는 관측이 나왔다.

이렇게 위안을 주는 개념들은 자연은 인간의 미약한 힘보다 훨씬 강하며, 결국에는 자연적인 과정들이 모든 것의 균형을 잡아줄 것이라는 그 당시의 지배적인 세계관과 잘 들어맞았다. 걱정하거나 특별히 관심을 기울여야 할 것은 아무것도 없었다. 산업의 발전으로 배출되는 여분의 이산화탄소는 지구를 더 따뜻하게 하지 않을 것이다. 모두들 그렇게 생각했다.

그 후 수십 년 동안 일부 연구자들이 이산화탄소가 기후에 미치는 효과에 대해 관심을 갖고 계속 연구를 했다. 어떤 사람들은 그저 막연한 호기심으로, 어떤 사람들은 아레니우스의 생각에 일리가 있다는 확신을 가지고 파고들었다. 한편, 전 세계에서 도시들이 확장되기 시작

했다. 많은 나라에서 사람들의 생활 방식은 힘들고 단조로운 농경 사회의 방식에서 벗어나 편리하고 화려한 산업 사회의 방식으로 변해갔다. 해가 갈수록 점점 더 많은 공장 굴뚝들이 대기 중으로 이산화탄소를 뿜어냈다. 철도가 건설되고, 자동차들이 달리고, 제트 비행기가 하늘을 날면서 짙짙 짙 짙 배출되던 이산화탄소는 이제 홍수처럼 쏟아져 나왔다. 20세기 말에 세계 인구는 아레니우스 시대에 비해 4배나 늘어났고, 1인당 평균 에너지 사용량도 4배나 늘어났다. 그 결과, 인간 활동으로 인해 대기 중으로 배출되는 이산화탄소의 양은 무려 16배나 늘어났다. 이런 일을 예측한 사람은 아무도 없었다. 대기 중에서 점점 증가하는 이산화탄소의 양은 한동안 아무도 눈치 채지 못하고 있었다.

그러다가 1952년에 아레니우스의 연구에 대한 핵심 비판 중 하나가 예기치 못한 곳에서 무너지는 일이 발생했다. 대기 중에 이산화탄소의 양이 늘어나더라도 기온에는 큰 변화가 없을 것이라고 생각했는데, 이미 대기 중에 존재하는 이산화탄소만으로도 볼 수 있는 적외선은 모두 붙드는 것으로 보였기 때문이다. 그러나 새로운 측정 결과와 이론은 이 주장에 심각한 결함이 있음을 시사하기 시작했다. 초기에 행한 그 실험들은 보통 실험실에서 일상적인 온도와 기압에서 이루어진 것이었다. 그러나 대부분의 적외선 차단이 일어나는 높은 상공에서는 공기가 차갑고 희박하다. 이것이 큰 차이를 나타내는 것으로 밝혀졌다. 그렇게 온도와 압력이 낮은 곳에서는 이산화탄소가 선택하는 색의 복사를 모두 흡수하지 않는다.

록히드 항공사의 한 무기 개발자는 이 새로운 발견에서 영감을 얻었다. 길버트 플래스(Gilbert Plass)는 적외선 전문가였다. 그는 적외선

을 이용해 열추적 미사일을 개발하는 게 일과였다. 그러나 저녁에는 좀더 일반적인 과학에 관한 글들을 읽는 걸 즐겼다. 이산화탄소와 적외선에 관한 아레니우스의 이론(물론 틀린 것으로 간주되던)을 우연히 본 그는 새로운 결과들이 어떤 차이를 나타낼지 궁금했다. 다행히도, 그는 연필과 종이로 몇 달 동안 계산에 매달릴 필요가 없었다. 얼마 전에 발명된 디지털 컴퓨터를 사용했던 것이다. 주로 여가 시간을 활용해 플래스는 수정된 수치를 대입해보았다. 그 결과는 예상했던 대로였다. 대기 중에 추가된 이산화탄소는 상당한 차이를 초래했고, 그것이 기후에 미치는 효과는 예상 외로 큰 것으로 드러났다.

다음으로 바다가 대부분의 이산화탄소를 흡수한다는 개념을 검토해볼 차례였다. 연구자들은 따뜻한 표층수가 그 아래의 차가운 물과 잘 섞이지 않는다는 사실을 발견했는데, 이것은 바다가 흡수한 이산화탄소 중 대부분은 금방 대기 중으로 재순환된다는 것을 의미했다. 이것이 어떤 차이를 만들어낼지는 아무도 확실하게 말할 수 없었다.\* 꼭 알아야 할 필요가 있는 사실은 대기 중의 이산화탄소 농도가 실제로 변하고 있는가 하는 것이었다. 만약 변한다면, 어느 정도나 변할까?

이런 상황에서 찰스 데이브 킬링(Charles 'Dave' Keeling)이라는 젊은 미국인 연구자가 등장했다. 킬링은 플래스의 연구를 읽고는 그와 함께 그것에 대해 토론을 했다. 그는 이산화탄소와 그것이 지구의 기후에 미치는 효과에 큰 관심을 가지게 되었는데, 확실한 것을 알려면 직접 측정하는 수밖에 없다고 생각했다. 이를 위해 그는 이산화탄소

\*이것이 어떤 차이를 만들어낼지는 아무도 확실하게 말할 수 없었다—우리가 배출한 전체 이산화탄소 중 1/3-1/2은 바다 속으로 서서히 사라지는 것으로 밝혀졌는데, 이것은 공기 중에 이산화탄소가 축적되는 속도를 늦추는 데 일조한다.

농도를 아주 정확하게 측정할 수 있는 장비를 개발했다. 그는 하와이 제도의 빅 섬에 있는 화산인 마우나로아 산 정상에 그것을 설치했다. 그곳을 선택한 이유는 실험 결과에 영향을 줄 수 있는 산업 지역에서 멀리 떨어진 곳이었기 때문이다. 그런데 그는 측정을 한 달이나 일 년 동안만 하려고 한 것이 아니었다. 그는 측정을 영구적으로 계속하려고 했다.

킬링은 직관력이 뛰어나고 기술적으로도 해박할 뿐만 아니라 다행스럽게도 완고했다. 그의 성격이 완고한 걸 다행이라고 한 이유는 그가 계획한 것과 같은 장기적인 연구를 지원해주려는 곳이 한 군데도 없었기 때문이다. 미국에서 과학 연구에 기금을 지원하는 기구들은 어쩌다가 한 번씩 측정을 하는 것은 아무 문제가 없다고 이야기했다. 그러나 아주 값비싼 첨단 장비를 하와이 섬에 수십 년 동안 계속 설치한다고? 그럴 필요가 뭐 있느냐는 것이 그들의 생각이었다.

그러나 킬링은 '안 된다.'는 말을 받아들이지 않았다. 그는 언쟁을 벌이고 상대를 귀찮게 괴롭히고 강하게 요구한 끝에 결국 필요한 장비를 마우나로아 산 정상에 설치할 수 있었다. 그의 생각이 옳다는 것이 증명되기까지는 오랜 시간이 걸리지 않았다. 첫째와 그 다음 해 사이에서도 이산화탄소 농도에 분명한 차이가 발견되었다. 그것은 인간이 만들어낸 이산화탄소를 바다가 흡수하지 않을 경우에 나타날 수 있는 결과였다.

킬링은 40년 이상 계속 측정을 했다. 그래프 위에 그 결과를 나타낸 '킬링 곡선'은 지구 온난화 논쟁에서 아주 유명한 아이콘으로 자리 잡게 되었다. 해가 지남에 따라 킬링 곡선이 보여주는 이산화탄소 농도는 평탄한 선도 아니고, 심지어 완만하게 상승하는 직선도 아니었

다. 그것은 마치 맹렬하게 솟구치는 높은 파도처럼 지수함수적으로 상승했다.

그런데 과연 이산화탄소는 지구의 기온을 상승시킬까? 정교한 새 컴퓨터 모형들은 그렇다는 것을 시사했지만, 일관성 있는 답을 내놓기까지는 진통을 겪었다. 어떤 모형은 이산화탄소 농도가 두 배로 증가하면 세계 평균 기온은 1°C 정도 증가할 것이라는 결과를 내놓은 반면, 어떤 것은 8~9°C 정도 증가할 것이란 결과를 내놓았다. 아마도 그 답은 실제로 기온이 얼마나 상승했는지 살펴보면 얻을 수 있을 것이다. 그러나 여기에는 또 다른 문제점이 있다. 평균 기온은 자연적으로도 해마다 변화하는데, 정상적인 변화 속에서 지구 온난화로 인한 효과를 찾아내기가 만만치 않다.

이것은 지구 온난화 연구자들이 이미지 문제 때문에 늘 고민한 이유 중 하나이기도 하다. 대규모 원유 유출 사고나 산성 비로 숲이 황폐화된 사건이라면 사람들에게 필요한 행동을 촉구하는 건 별 힘든 일이 아니다. 그러나 이산화탄소의 효과에 관한 것이라면, 문제가 되는 것은 장기적 전망뿐이다. 어느 누구도 "이번 열파는 지구 온난화 때문에 발생했다."라고 말하거나 언제 발생한 홍수의 원인이 지구 온난화 때문이라고 단정지어 말할 수 없을 것이다. 이산화탄소가 초래할 잠재적인 나쁜 효과는 딱 꼬집어 말하기 어려운 어떤 '경향'이다.

그렇지만 세계는 이제 이 새로운 위협을 불안한 눈으로 바라보기 시작했다. 기록에 따르면, 지난 세기에 지구의 평균 기온은 몇 분의 1도 정도 올랐는데, 그것은 비록 미미한 것이지만, 최초로 나타난 실제적인 변화의 조짐이었다. 그러다가 1995년에 국제 기후과학자 단체가 처음으로 균형이 깨어진 증거를 발견했다고 발표했다. 그들은 이

미 지구 온난화가 다했다고 선언했다. 그 직후 1995년이 관측 기록이 시작된 이래 가장 기온이 높은 해라는 뉴스가 나왔다. 그런데 1997년은 1995년보다 기온이 더 높았고, 1998년은 그보다 더 높았다.

그리고 1999년에 발표된 한 과학 논문은 지구 온난화를 의심하는 사람들에게 결정타를 날렸다. 그 논문은 지구상에서 공식적으로 가장 추운 장소에서 수십 년간 연구한 내용을 바탕으로 쓴 것이었다. 남극 대륙의 아주 추운 곳에 자리 잡은 러시아의 보스토크 기지는 겨울이면 강철도 파열될 만큼 기온이 크게 떨어진다. 여름철에도 이곳은 사람이 살기 힘든 곳이다. 기온은 영하 23°C 이상으로 오르는 경우가 드물며, 공기는 사하라 사막만큼 건조하다. 이곳에 거주하는 몇몇 연구자는 늘 예산 부족에 시달리는 가지에서 생활하는데, 러시아인 특유의 강인함으로 겨우 버텨나가는 것처럼 보인다.

그러나 보스토크 기지의 얼음에는 아주 경이로운 것이 묻혀 있다. 두께가 3km 이상이나 되는 이 얼음에는 과거 수십만 년 동안의 기후에 관한 기록이 언 채로 보관돼 있다. 러시아 과학자들은 지난 수십 년 동안 프랑스 연구자들과 미국 연구자들의 도움을 받아가며 이 자연의 보고에 구멍을 뚫고 있는데, 더 깊이 파고 들어갈수록 더 먼 과거로 다가가는 셈이다. 그들은 이미 지난 40만 년간의 기온에 대한 기록과 네 차례의 빙하 시대(각각의 빙하 시대 사이에는 기온이 더 따뜻한 시기가 있었다.)에 관한 증거를 얻었다고 발표했다. 그런데 그들이 1999년에 발견한 것은 큰 파문을 일으켰다. 그들은 기온뿐만 아니라, 과거의 지구 대기도 극소량 얻는 데 성공했다.

어떻게 과거의 공기가 얼음 속에 보존될 수 있었을까? 보스토크 기지에 눈이 내릴 때마다 눈송이들 사이에 약간의 공기가 갇히게 된다.

세월이 흐르면 그 눈송이들은 그 위에 내린 눈에 파묻히게 된다. 그리고 위에 쌓인 눈에 짓눌려 마침내 아래의 눈은 얼음으로 변한다. 이때, 눈송이들 사이에 갇혔던 공기는 바깥으로 빠져나갈 수가 없다. 그래서 그렇게 차가운 상태로 계속 보관된 작은 기포는 과거의 대기 상태를 간직한 타임 캡슐이 된다. 보스토크 기지의 연구자들은 단지 이 작은 기포들을 회수하기만 한 것이 아니다. 그들은 얼음을 조심스럽게 깨어 호모 사피엔스가 막 진화했을 무렵의 공기를 꺼냈다.

그리고 나서 그들은 그 공기를 분석했다. 그들은 극도의 인내심을 발휘하여 극소량의 이산화탄소를 추출하여 측정 장비에 넣었다. 이런 식으로 그들은 지난 40만 년간의 대기 중 이산화탄소 농도 기록을 얻어, 먼저 얻은 40만 년간의 기온 기록과 비교할 수 있게 되었다.

이 두 기록을 나란히 놓고 보니 아주 놀라운 사실이 드러났다. 기온이 낮은 시기에는 이산화탄소 농도도 낮았고, 기온이 높은 시기에는 이산화탄소 농도도 높은 것으로 나타난 것이다. 기후와 이산화탄소는 손을 잡고 함께 나아가는 게 분명했다. 틴들과 아레니우스의 연구가 정확하게 옳다는 것이 드러났다.\* 우리는 아직도 이산화탄소와 기온 사이의 연관 관계나 지구 대기의 복잡한 상호 관계에 대해서는 정확하게 모르고 있다. 그러나 역사는 이산화탄소가 지구의 기온을 좌지우지하는 중요한 변수라는 사실을 분명하게 보여준다.

그것 말고도 더 놀라운 사실이 있었다. 이산화탄소 농도는 자연적으로 변하는 것처럼 보였고, 그와 함께 기온에도 자연적 변동이 나타

\* 틴들과 아레니우스의 연구가 정확하게 옳다는 것이 드러났다—이산화탄소 농도의 감소만으로는 기온 변화를 조래하기에 충분치 않지만, 이 논문은 메탄과 같은 다른 온실 기체와 함께 작용할 때 이산화탄소가 아주 중요한 역할을 한다는 것을 의심의 여지 없이 보여주었다.

난 것을 볼 수 있었다. 그러나 그 기록을 좀더 자세히 살펴보았더니, 지난 40만 년 동안에 이산화탄소 농도가 오늘날의 수준만큼 높은 적은 한 번도 없었다.

보스토크 기지에서 수백 킬로미터 떨어진 돔 C에서 EPICA라는 유럽의 합동 연구 조사단이 파낸 얼음 코어에 담긴 기록은 약 80만 년 전까지 거슬러 올라간다. 거기에도 똑같은 이야기가 기록돼 있었다. 이산화탄소 농도 변화는 기온 변화와 놀라울 정도로 일치했다. 그리고 이 얼어붙은 타임 머신을 타고 갈 수 있는 데까지 먼 과거로 가보아도 대기 중의 이산화탄소 농도가 오늘날만큼 높았던 적은 한 번도 없었다. 인류의 역사를 통틀어 지구가 경험한 가장 높은 이산화탄소 농도는 약 280ppm, 그러니까 0.0028% 수준이었다. 그런데 오늘날 이산화탄소 농도는 380ppm 이상이고, 이마저 계속 증가하고 있다.

이것이 지구에 어떤 효과를 가져올지 정확하게 예측할 수 있는 사람은 아무도 없지만, 대부분의 과학자는 최소한 어느 정도의 변화를 피하기에는 이미 때가 늦었다고 생각한다.

지구의 역사에서 먼 과거 어느 시점에 이산화탄소 농도가 현재보다 훨씬 높았던 적이 있다는 사실을 우리는 알고 있다(최소한 그렇게 판단하고 있다.). 그러나 그것은 사람이나 유인원 비슷하게 생긴 우리의 조상이 출현하기 이전에 일어난 일이다. 지난 수백 년 동안 우리는 사회를 현재의 기후, 즉 홍수와 폭풍과 강수량 패턴, 그리고 작물과 가축에 맞춰 발전시킨다고 막대한 노력을 쏟아왔다. 만약 따뜻해진 바다가 해수면이 높아져 해안 도시들을 침수시키거나 폭풍 해일이 해안선을 휩쓸거나 내륙 지방이 흙먼지 폭풍이 부는 사막 지역으로 변한다면 해도 우리는 그냥 훌훌 털고 일어나 다른 곳으로 옮겨갈 수 없다.

한편, 얼음에서 나온 추가적인 증거는, 지구 대기라는 엔진으로 굴러가는 우리의 복잡한 기후계는 때로는 극단적으로 다른 상태들 사이에서 미묘하게 균형을 이룰 수 있음을 시사한다. 이런 상태에서 균형을 약간만 기울게 하는 일이 일어나도, 기온은 크게 치솟거나 곤두박질칠 수 있다.\* 1987년, 통찰력이 뛰어난 기후 연구자인 뉴욕의 월리 브로커(Wally Broecker)는 우리가 온실 효과를 '카테일 시간의 호기심 거리' 정도로 여기고 있다면서 이제 그것을 심각하게 바라보아야 할 때가 되었다고 말했다. 그리고 기후계는 변덕스러운 야수이며, 우리는 그것을 쫓아다니는 작대기로 찌르고 있다고 표현했다.

2003년에 유럽에 밀려닥친 열파로 3만 5000여 명이 사망한 뒤, 영국 정부의 과학 수석 자문위원은 지구 온난화가 '테러보다 더 무서운 위협'이라고 말했다. 그러나 정치인들이 실전을 벌이고, 과학자들이 호소를 하는 동안에도 우리는 평소와 다른없는 방식으로 살아가고 있다. 우리가 자동차를 몰거나 비행기를 타거나 전등을 켜거나 혹은 그 밖의 수많은 일상 행위를 할 때마다 새로운 이산화탄소가 발생해 하늘로 올라간다.

이산화탄소의 위력에 관한 마지막 경고는 우리의 자매 행성인 금성이 들려준다. 금성은 지구보다 태양에 조금 더 가깝기 때문에 지구보다 온도가 조금 더 높을 것으로 예상되지만, 나머지 여러 측면(예컨대 크기)에서는 우리와 쌍둥이라고 할 만큼 비슷하다. 그런데 과거의 어느 시점에 이산화탄소가 금성의 대기에 사악한 마술을 부렸다. 금성의 화산들에서 다량의 이산화탄소가 대기로 흘러나갔다. 공기는 점점

\*기온은 크게 치솟거나 곤두박질칠 수 있다—예를 들어 'The flickering switch of late Pleistocene climate change' (K. C. Taylor et al., Nature, vol. 361 (February 4, 1993), pp. 432-36)를 보라.

따뜻해졌고, 바다에서 점점 더 많은 물을 빨아들였다. 추가된 수증기는 온실 기체 효과를 발휘하면서 이산화탄소의 위력을 더욱 강화시켰다. 곧 대기는 이산화탄소와 수증기로 가득 차게 되어 금성에서 탈출하려는 모든 적외선을 붙들어 도로 표면으로 돌려보냈다. 그 결과, 금성에서는 오래전에 바다가 사라졌다. 표면의 암석은 뼈다귀처럼 말라 붙었고, 납도 녹일 정도로 뜨겁다.

많은 연구자들은 금성이 태양에 더 가까운 거리에 있다는 사실에 안도의 한숨을 내쉬고, 그런 온실 효과의 재앙은 이곳 지구에서는 일어나지 않을 것이라고 말한다. 그러나 그들의 생각이 틀릴 수도 있다. 최근에 수천 대의 PC 스크린 세이버를 사용해 다양한 기후 모형을 시험하여 미래의 기후를 예측한 결과에 따르면, 이산화탄소 농도가 두 배로 증가하면 세계 평균 기온이 최고 11°C까지 오르는 것으로 나타났다. 기온이 그렇게까지 상승하면 가뭄과 산불이 증가하여 더 많은 이산화탄소가 대기 중으로 흘러들어갈 것이고, 결국에는 파국을 초래하게 될 것이다. 그 확률은 1% 정도로 극히 낮을지 모르지만, 어쨌든 가능성은 엄연히 존재한다.

따라서, 이산화탄소는 공기 중에서 중요하면서도 위험한 요소이다. 우리는 식량과 온기를 위해 이산화탄소가 필요하지만, 그것을 남용하여 스스로 위험을 초래하고 있다. 질소와 산소 그리고 두꺼운 대기층과 함께 이산화탄소는 암석 덩어리 세계를 숨 쉬고 살아 있는 세계로 변화시키는 데 중요한 역할을 한다. 그러한 변화 과정의 마지막 단계는 공기 중에 포함된 어떤 것이 아니라, 공기가 움직이는 방식이 좌우한다. 바람을 맞을 때마다, 그리고 양쪽 창문을 열어놓았을 때 방문이 불가사의하게 저절로 닫힐 때마다 공기의 움직임을 느낄 수 있다. 그

러나 정작 바람이 생명의 중개자로서 그 위력을 발휘하는 것은 지구 주위를 도는 거대한 공기 집단의 흐름을 통해서이다.